СХЕМОТЕХНИКА ЦЕПЕЙ ПИТАНИЯ ПРОЦЕССОРОВ PENTIUM 4

Сергей Образцов, г. Смоленск

Материнская плата современного компьютера представляет собой очень сложное электронное устройство, практически не поддающееся ремонту. Однако наиболее вероятной является неисправность источника питания процессора, которую сравнительно легко можно устранить. В статье рассмотрены основные принципы построения цепей питания процессоров для материнских плат на базе чипсетов i848/i865, которые необходимо знать при ремонте материнской платы.

Ток потребления современных микропроцессоров достигает 100 А. С первого взгляда, это значение кажется довольно высоким. Однако ничего удивительного в этом нет – причина вполне объяснима. В процессоре в качестве ключевых элементов используются МДП-транзисторы, наиболее экономичные по сравнению с другими управляемыми маломощными ключами. Для переключения МДП-транзистора необходима полная перезарядка емкости затвора, за счет чего возникает повышенное потребление тока. При повышении частоты работы, которая у современных процессоров составляет несколько гигагерц, происходит пропорциональное увеличение среднего тока затвора, а так как количество транзисторов на кристалле процессора исчисляется миллионами, то и потребляемый для их переключения ток оказывается достаточно большим.

Таким образом, повышение производительности процессора приводит к росту тока потребления, уменьшить который можно, только уменьшив емкость затвора транзистора, то есть его геометрические размеры. Поэтому уменьшение тока потребления и рассеиваемой мощности производители процессоров достигают путем перехода на новую технологию с меньшим размером ячеек.

Однако при столь огромном токе потребления напряжение питания процессора составляет всего около 1,5 В. Поэтому к источникам питания процессора (ИПП) предъявляются очень жесткие требования. Так выходное сопротивление источника строго регламентируется и должно составлять для разных конфигураций от 1,24 до 1,5 мОм (табл. 1). Каждый тип процессора Pentium 4 имеет свои требования к источнику питания, его конфигурации, что отражено в табл. 2. Понятно, что увеличение выходного сопротивления приводит к уменьшению выходного напряжения и кпд источника. Но почему нельзя уменьшать выходное сопротивление? Казалось бы, увеличивается стабильность напряжения питания процессора при колебаниях тока нагрузки, снижаются потери, растет кпд. Ведь при токе 80 А на сопротивлении 1,5 мОм будет рассеиваться почти 10 Вт! Без радиатора не обойтись…

Однако можно построить такой источник, который будет контролировать выходной ток и пропорционально ему уменьшать выходное напряжение, тем самым, моделируя резистивный характер выхода с нужным сопротивлением. Наиболее оптимальным решением построения такого источника питания является использование регулятора I типа с входным напряжением 12 В. Ответ же на вопрос, почему так важно точное соответствие выходного сопротивления установленным нормам, а также пояснение некоторых параметров табл. 1 будут даны ниже.

Для питания процессоров на материнских платах на базе чипсетов i848/i865 используются регуляторы, построенные на микросхеме ADP3180 компании Analog Devices или ей аналогичной, функциональная схема которой приведена на рисунке 1.

ADP3180 представляет собой специализированный многоканальный ШИМ-контроллер, предназначенный для преобразования 12 В в напряжение питания процессора. Такой регулятор может иметь от двух до четырех независимых каналов. Высокие значения выходного тока делают невозможным построение ИПП по одноканальной схеме. Это объясняется тем, что в этом случае потери в ключах и дросселе будут достаточно велики, а установить ключи на радиатор в рамках материнской платы и изготовить миниатюрный дроссель с рабочим током порядка 80…100 А не представляется возможным. При использовании нескольких независимых каналов эти проблемы отпадают. Кроме того, ИМС ADP3180 имеет схему баланса токов, позволяющую либо уравнять токи каналов, либо распределить их в определенной пропорции, что будет рассмотрено при описании схемы включения.

Значение питающего напряжения VCC процессора Pentium 4 определяется выдаваемым им 5-разрядым цифровым кодом VID. Следует отметить, что новейшие процессоры Intel Pentium в корпусе с 775 выводами выдают уже 6-разрядный код VID, что связано с уменьшением шага дискретности сетки выходных напряжений ИПП. Для обеспечения совместимости разряд VID5 при 5-разрядном коде VID устанавливается в логическую единицу. В таблице 1 представлены все допустимые значения кода VID и соответствующие им номинальные значения напряжения. Каждый процессор имеет свое значение данного кода, наиболее современные могут даже изменять его динамически, «на лету», в зависимости от степени загруженности и температуры.

Схема включения ИМС ADP3180 на материнской плате ASUS P4P800S на базе чипсета Intel 848P

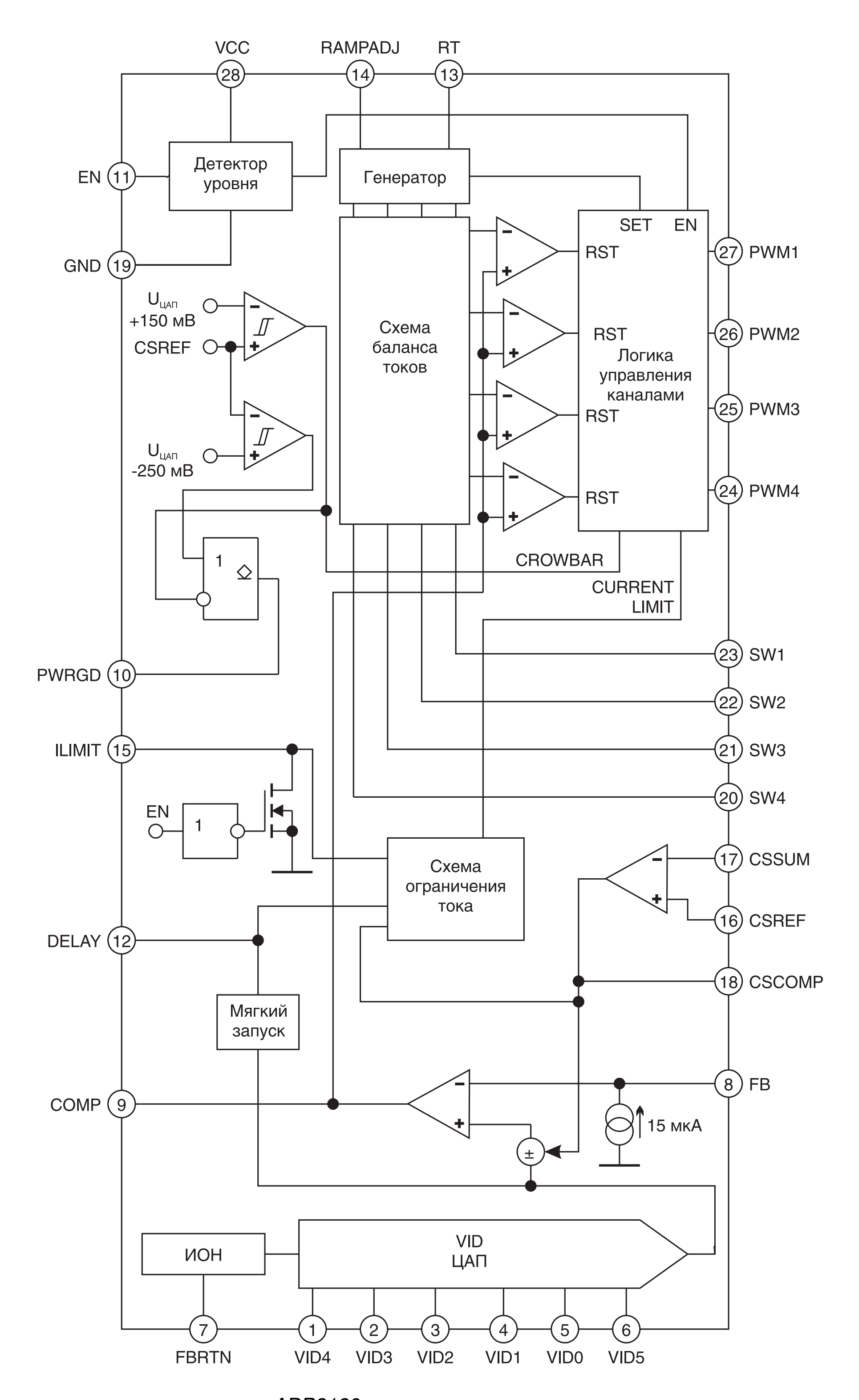


Рис. 1. *Функциональная схема микросхемы ADP3180*

представлена на рисунке 2. Приведенная схема была получена автором после корректировки типовой схемы включения в соответствии с монтажом на материнской плате, поэтому схема не претендует на абсолютную полноту и точность, но помогает пояснить принцип работы преобразователя, а также ускорить поиск неисправности.

Источник питания имеет 3 канала, каждый из которых представляет собой полумост, управляемый драйвером ADP3418 компании Analog Devices. Преимущество полумостовой схемы перед классической с ключом и нулевым диодом заключается в том, что падение напряжения на канале МДП-транзистора меньше, чем на переходе нулевого диода даже при

использовании диода Шоттки (около 0,4 В). Соответственно на транзисторе рассеивается меньшая мощность, чем на диоде. Однако несколько усложняется управление ключами преобразователя, могут появиться сквозные токи, но все эти проблемы отпадают при использовании интегрального драйвера управления полумостом.

Сигналы управления каналами подаются с выходов PWM ШИМ-контроллера на входы IN драйверов. Высокий уровень этого сигнала соответствует открытому верхнему транзистору полумоста, низкий – открытому нижнему. Число рабочих каналов определяется ШИМ-контроллером в момент запуска сканированием выходов PWM. Если оказывается заземлен вывод PWM4, то контроллер работает в 3-канальном режиме, если же заземлены оба вывода PWM3 и PWM4, то в 2-канальном. Таким образом, в случае выхода из строя одного из каналов ИПП можно запустить с двумя каналами. Для этого необходимо заземлить вывод PWM3, подать сигналы с выходов PWM1 и PWM2 на входы исправных каналов, а также подвести от них обратную связь к выводам SW1 и SW2 контроллера. Однако стоит заметить, что при таком режиме работы следует постоянно контролировать температуру ключей во избежание их чрезмерного перегрева, так как в данном случае средний ток каждого канала, а также частота работы контроллера из-за его внутренних особенностей возрастают в 1,5 раза. Кроме того, автор настоятельно рекомендует установить на материнскую плату процессор с как можно меньшим током потребления, например, с тактовой частотой 2,0 ГГц, который потребляет всего около 50 А.

С выхода каждого полумоста сигнал подается через один из резисторов R589, R591, R592 на соответствующий каналу вход SW. Указанные резисторы служат для распределения тока по каналам. Для увеличения тока канала необходимо увеличить со-

Таблица 1. *Значения выходного напряжения при различных значениях кода VID*

Цифровой код						Напряжение, В	Цифровой код						Напряжение, В
VID5	VID4	VID3	VID2	VID1	VID0		VID5	VID4	VID3	VID2	VID1	VID0	
0	0	1	0	1	0	0,8375	0	1	1	0	1	0	1,2125
1	0	1	0	0	1	0,8500	1	1	1	0	0	1	1,2250
0	0	1	0	0	1	0,8625	0	1	1	0	0	1	1,2375
1	0	1	0	0	0	0,8750	1	1	1	0	0	0	1,2500
0	0	1	0	0	0	0,8875	0	1	1	0	0	0	1,2625
1	0	0	1	1	1	0,9000	1	1	0	1	1	1	1,2750
0	0	0	1	1	1	0,9125	0	1	0	1	1	1	1,2875
1	0	0	1	1	0	0,9250	1	1	0	1	1	0	1,3000
0	0	0	1	1	0	0,9375	0	1	0	1	1	0	1,3125
1	0	0	1	0	1	0,9500	1	1	0	1	0	1	1,3250
0	0	0	1	0	1	0,9625	0	1	0	1	0	1	1,3375
1	0	0	1	0	0	0,9750	1	1	0	1	0	0	1,3500
0	0	0	1	0	0	0,9875	0	1	0	1	0	0	1,3625
1	0	0	0	1	1	1,0000	1	1	0	0	1	1	1,3750
0	0	0	0	1	1	1,0125	0	1	0	0	1	1	1,3875
1	0	0	0	1	0	1,0250	1	1	0	0	1	0	1,4000
0	0	0	0	1	0	1,0375	0	1	0	0	1	0	1,4125
1	0	0	0	0	1	1,0500	1	1	0	0	0	1	1,4250
0	0	0	0	0	1	1,0625	0	1	0	0	0	1	1,4375
1	0	0	0	0	0	1,0750	1	1	0	0	0	0	1,4500
0	0	0	0	0	0	1,0875	0	1	0	0	0	0	1,4625
1	1	1	1	1	1	Выкл.	1	0	1	1	1	1	1,4750
0	1	1	1	1	1	Выкл.	0	0	1	1	1	1	1,4875
1	1	1	1	1	0	1,1000	1	0	1	1	1	0	1,5000
0	1	1	1	1	0	1,1125	0	0	1	1	1	0	1,5125
1	1	1	1	1	1	1,1250	1	0	1	1	0	1	1,5250
0	1	1	1	0	1	1,1375	0	0	1	1	0	1	1,5375
1	1	1	1	0	0	1,1500	1	0	1	1	0	0	1,5500
0	1	1	1	0	0	1,1625	0	0	1	1	0	0	1,5625
1	1	1	0	1	1	1,1750	1	0	1	0	1	1	1,5750
0	1	1	0	1	1	1,1875	0	0	1	0	1	1	1,5875
1	1	1	0	1	0	1,2000	1	0	1	0	1	0	1,6000

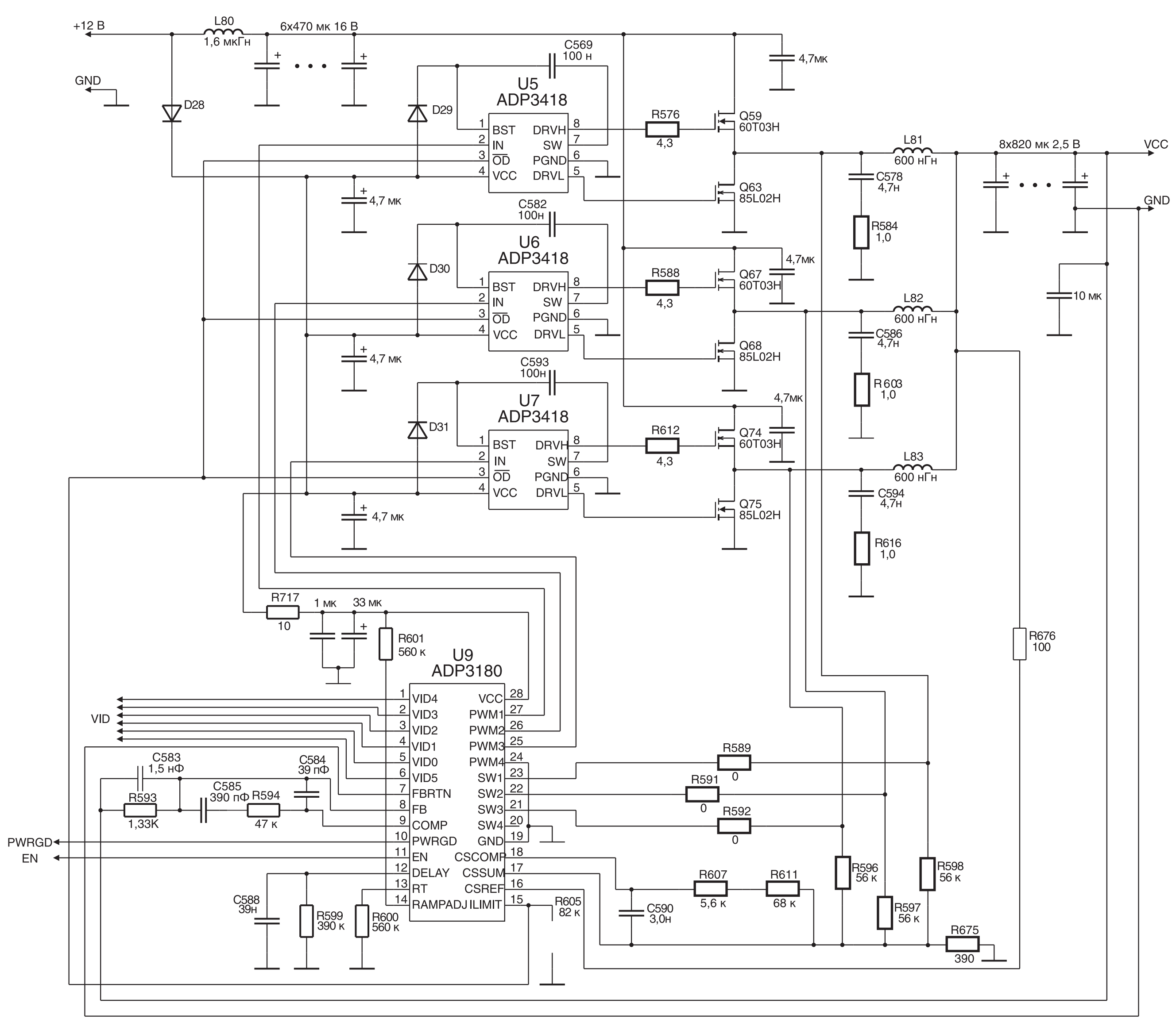


Рис. 2. *Принципиальная схема источника питания процессора Pentium 4*

противление соответствующего резистора. Замена перемычки (резистора номиналом 0 Ом) на резистор 500 Ом ощутимо увеличивает ток канала. Таким образом, можно регулировать силу тока канала, что иногда приходится делать при чрезмерном разогреве одного из каналов.

Как было отмечено выше, ИПП должен иметь строго регламентированное значение выходного сопротивления. Дело в том, что процессор Pentium 4 имеет некоторую особенность: при повышении тока потребления для снижения рассеиваемой мощности следует незначительно уменьшать напряжение питания пропорционально току [2]. В противном случае процессор будет работать при повышенной температуре, что может значительно сократить время его безотказной работы, хотя при современном темпе развития компьютерной техники это не совсем актуально: процессоры устаревают морально во много раз быстрее, чем физически. Однако повышенная температура кристалла процессора может привести к срабатыванию специальной схемы тепловой защиты, переводящей процессор в режим ограничения потребляемой мощности, что приводит к значительному сокращению производительности компьютерной системы. Превышение номинального значения выходного сопротивления может привести к внезапному зависанию системы, выдаче на мониторе, как говорят компьютерщики, «синего экрана смерти», что чревато потерей данных. Поэтому при покупке материнской платы следует уделять большое внимание типам поддерживаемых процессоров, так как все они вставляются в один и тот же разъем Socket 478, но имеют совершенно разные требования к источнику питания. Таблицы 2 и 3 помогут сделать правильный выбор.

Номинальное значение питающего напряжения устанавливается формулой

$$U_{CC} = U_{VID} - \Delta U - I_{CC}R_{ВЫХ},$$

где U_{VID} – напряжение, соответствующее коду VID,

I_{CC} – потребляемый ток,

$R_{ВЫХ}$ – выходное сопротивление ИПП,

ΔU – предельное отклонение напряжения.

Исходные данные для расчета DU и RВЫХ выбираются из таблицы 1. Максимальное отклонение напряжения питания от номинального значения в обе стороны не должно превышать DU.

В качестве датчика тока выступает активное сопротивление выходных дросселей источника питания. Однако для измерения падения напряжения на нем приходится прибегать к специальным методам. Дело в том, что на выходе полумоста имеется пульсирующее напряжение, на другом выводе дросселя – постоянное, поэтому напряжение с выхода полумоста следует сначала сгладить активным фильтром, а затем уже сравнить с напряжением на выходе. Их разность будет равна падению напряжения на датчике тока.

Активный фильтр выполнен на ОУ в составе микросхемы. На неинвертирующий вход (CSREF) подается напряжение с выхода ИПП, на инвертирующий (CSSUM) – просуммированные резисторами R596…R598 сигналы с выхода полумостов. С выхода ОУ фильтра сигнал подается на схему ограничения тока, срабатывающую при превышении установленной величины выходного тока. Этот сигнал также подается и на специальный источник, задающий смещение на входе ОУ ОС для уменьшения выходного напряжения при росте тока. При этом эффективное значение выходного сопротивления составляет:

$$R_{ВЫХ} = R_L \cdot \frac{R596}{R607 + R611}$$

где R_L – активное сопротивление дросселя.

Используя данную формулу, по параметрам элементов схемы легко найти величину выходного сопротивления. Единственное затруднение может вызвать измерение активного сопротивления дросселя ввиду его чрезвычайной малости. Однако его можно найти косвенно. Зная значение удельного сопротивления меди ρ = 0,017 Ом мм^2/м, измерив длину и диаметр провода обмотки, а также учитывая тот факт, что несколько проводов соединены параллельно, активное сопротивление дросселя найти достаточно легко.

Напряжение на выходе ОУ фильтра является третьим слагаемым в формуле (1), разделив его на сопротивление RВЫХ, получим значение выходного тока ИПП. Смещение напряжения DU задается резистором R593 при протекании через него тока 15 мкА внутреннего источника тока.

ИМС ADP3180 выдает также специальный сигнал Power Good (вывод 10), высокий уровень которого говорит о том, что уровень выходного напряжения лежит в пределах от –250 мВ до +150 мВ относительно номинального. При превышении этих пределов срабатывает соответствующий компаратор, сигнал с которого подается на вход логической схемы, формирующей сигнал Power Good. При превышении значения номинального напряжения на 150 мВ выдается внутренний сигнал CROWBAR, по которому логика управления каналами открывает нижние ключи полумостов, что, в конечном счете, приводит к уменьшению напряжения на выходе. Таким образом, осуществляется защита от перенапряжения.

Типичной неисправностью является выход из строя транзистора верхнего плеча одного из полумостов, причем этот транзистор может оказаться пробитым. В этом случае при включении питания компьютера напряжение 12 В подается напрямую на процессор. Ток потребления резко возрастает, в блоке питания компьютера срабатывает защита по току. Это про-

Таблица 2. *Конфигурации источников питания процессора*

Конфигурация	Пиковый ток Imax, А	Максимальный средний ток Icpmax, А	$R_{ВЫХ}$, мОм	ΔU, мВ	Umax, В
A	91	80	1,24	±19	1,4
B	78	68	1,3	±25	1,4
C	70	63	1,5	±25	1,6
D	91	80	1,5	±19	1,6

Таблица 3. *Соответствие конфигурации источников питания типу процессора*

Конфигурация	Тип процессора
A	Intel Pentium 4 Processor on 90 nm Process
B	
C	Intel Pentium 4 Processor
	Intel Celeron Processor on 0.13 Micron Process in the 478-Pin Package
D	Intel Pentium 4 Processor with 512-KB L2 Cache on 0.13 Micron Process at 3.40 GHz
	Intel Pentium 4 Processor Extreme Edition Supporting Hyper-Threading Technology Process

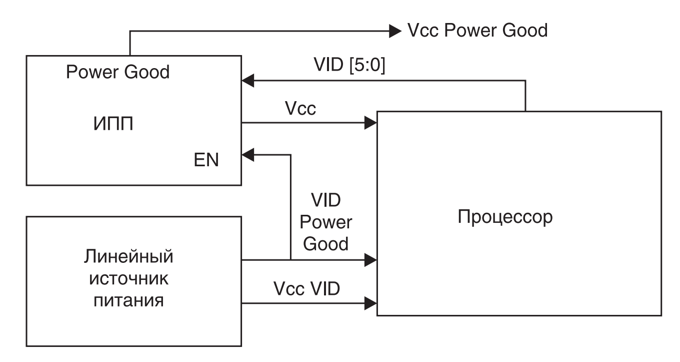


Рис. 3. *Структурная схема системы питания процессора*

исходит почти мгновенно: лопасти вентилятора лишь чуть-чуть успевают пошевелиться. В этом случае ни в коем случае нельзя пытаться включить питание несколько раз, а тем более включать материнскую плату без процессора – все это чревато выгоранием в прямом смысле слова со всеми сопутствующими эффектами (дым, пламя) некоторых элементов на материнской плате. Указанный транзистор 60T03H производства тайваньской фирмы Advanced Power Electronics Corp ($U_{СИ}$ = 30 В, $I_С$ = 60 А, $R_{СИ}$ = 12 мОм) можно заменить весьма распространенным IRF3205 ($U_{СИ}$ = 55 В, $I_С$ = 110 А, $R_{СИ}$ = 8 мОм) производства компании International Rectifier.

Однако если питание на материнскую плату подается корректно, но на процессоре напряжения нет, то следует приступать к поиску неисправности. Прежде всего следует проверить уровень напряжения на входе EN (вывод 11) ШИМ-контроллера. Он должен быть высоким. Вполне может быть, что ШИМ-контроллер просто не включается из-за того, что схема материнской платы блокирует включение ИПП. Дело в том, что пока не выставится значение кода VID, ИПП не должен включаться. Для питания схемы процессора, выдающей цифровой код VID, используется специальный линейный источник питания с напряжением на выходе 1,2 В. Структурная схема, поясняющая взаимодействие ИПП, линейного источника и процессора, представлена на рисунке 3.

Дальнейший поиск неисправности и ремонт осуществляется с помощью принципиальной схемы (рис. 2). Большинство ИПП современных материнских плат, даже для процессоров Pentium 4 в 775-вывод-ном корпусе, почти ничем не отличаются от рассмотренного.

Литература

1. Кишков Д. Схемы электропитания процессоров на материнских платах «Tomato» 5STX и EX98.//Ремонт электронной техники. 2000. №7–8. С. 37–41.

2. Voltage regulator-down 10.0. Design Guide.— Intel Corp., Febrary 2004.

3. 6-bit programmable 2-, 3-, 4-phase synchronous buck controller ADP3180.– Analog Devices Inc, 2003.

4. Dual bootstrapped 12V MOSFET driver with output disable ADP3418.— Analog Devices Inc, 2004.